Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 2, Summer 2022, p. 471-487

Foliar Application of Zinc Chelate Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sabrina Strawberry Cultivar in Different Solubilization Conditions

P. Sadeghi[1], H. Hassanpour[2*]

Received: 16-09-2021
Revised: 02-10-2021
Accepted: 28-11-2021
Available Online: 21-08-2022

How to cite this article:
Sadeghi P., and Hassanpour H. 2022. Foliar Application of Zinc Chelate Nanoparticles on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sabrina Strawberry Cultivar in Different Solubilization Conditions. Journal of Horticultural Science 36(2): 471-478. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JHS.2021.72513.1091

Introduction

Strawberry with the scientific name Fragaria × ananassa Dutch from the Rosaceae family is an important commercial fruit in the world, which is widely considered in terms of nutrition due to its rich content of vitamins, minerals and phytochemicals. Water scarcity stress is one of the important sources of abiotic stresses, so that it reduces growth, development and yield during the vegetative, reproductive and maturing stages of the crop. Studies have shown that application of nano-fertilizers can be useful in order to achieve high yield while reducing the amount of fertilizer consumption due to its higher absorption due to its high specific surface area. Despite its low consumption, zinc is involved in chromosome synthesis, carbohydrate metabolism, photosynthesis, sugar-to-starch conversion, protein metabolism, auxin metabolism, pollen grain formation, biological membrane preservation, and resistance to infections by pathogens. Zinc is also needed for chlorophyll production, pollen grain yield, fertility and pollen grain germination. Zinc as a coenzyme is also involved in the activation of many enzymes in the biosynthesis pathway of secondary metabolites. The use of zinc nanoparticles can have very positive effects on the quantitative and qualitative properties of strawberry fruit during low solubility

Materials and Methods

The present study was conducted in the greenhouses of the Department of Horticulture, Urmia University.Sabrina cultivar strawberry seedlings were planted in culture bags containing 50% cocopeat, 25% pithomass and 25% perlite in three rows containing 27 plants and evenly pruned. The first week was used to establish the plants from water, the second week to the sixth week for vegetative growth of half-concentrated Hoagland solution and from the seventh week to the end of the harvest period, depending on the stages of flowering to fruiting, modified Hoagland nutrient solution was used. By calculating the amount of solution output from each nozzle and the amount of each plant need, the time required for solution was calculated and this time was divided into 5 times a day and was automatically pumped to the foot of each plant. To apply low solubility stress, the first row (without stress) was used with solution 5 times a day, the second row with solution 4 times a day and the third row with solution 3 times a day. Foliar application of different concentrations of zinc chelate nanoparticles was performed once a week (5 times) after pruning of primary flowers, from the fourteenth to the eighteenth week. Zinc chelate nanoparticles were used in three levels (0, 1 and 1.5 g / l) and nutrient solution treatment was performed in three levels (90, 110 and 130 ml) daily. Then fruits that were more than 70% colored were harvested and different quantitative and qualitative characteristics were measured. At the end of the experiment, fruit weight was measured using a digital scale, fruit length and width by caliper, fruit acidity by pH meter, titratable acids by titration method and TSS by refractometer. Chlorophyll a, b and total carotenoids were also measured using Dynamica spectrophotometer (HALODB-20) according to Lichtanthaler

1 and 2- M.Sc. and Associate Professor of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: ha.hassanpour@urmia.ac.ir)

& wallborn (1985). Also, fresh weight of shoots and roots were measured in the last stage after fruit harvest. For this purpose, the plants were completely removed from the bed and the roots were washed with water and then exposed to air to remove moisture. The aerial parts were then separated from the roots and weighed 0.001 g by digital scale. To measure dry weight, the roots and aerial parts were placed separately in the bag and then placed in a 70 ° oven for 72 hours and then weighed 0.001 g with a digital scale.

Results and Discussion

The results showed that the interaction effect of low solubility treatment and zinc chelate nanoparticles treatment on fruit weight, shoot dry weight and yield was significant, so that the highest amount was in the treatment of 130 ml of nutrient solution and concentration of 1.5 g / l of zinc chelate nanoparticles. Also in fruit length and width, pH, TA, TSS, chlorophyll a and b and carotenoids, the main effects of low solubility treatment and of chelate nanoparticles were significant. As in the treatment of chelate nanoparticles, the highest amount of these traits was observed in the concentration of 1.5 g / l nanoparticles and in the low solubility factor, the highest amount was observed in the control treatment (complete solubility).

Conclusion

Low solubility stress reduced the quantitative and qualitative characteristics of strawberry fruit. The use of different concentrations of nano-chelate zinc improved these properties, so that the greatest effect was related to the concentration of 1.5 g per liter of nanoparticles. This concentration increased the yield of the product more than 1.6 times compared to the control sample in complete solution and more than 1.7 times compared to the low solution. Also, the growth traits studied were significantly increased by the use of nanoparticles. These nanoparticles also improved the taste of the fruit by reducing the acidity and increasing the soluble solids.

Keywords: Deficit fertigation**,** Fruit**,** Hydroponics, Nano fertilizer, Yield

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۴۸۷-۴۷۱

کاربرد برگی نانو ذرات کلات روی، بر ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در شرایط محلول‌دهی متفاوت

پریسا صادقی[1]- حمید حسن پور[2]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

چکیده

کمبود آب یکی از منابع مهم تنش‌های غیرزنده است، به‌طوری‌که باعث کاهش رشد، نمو و عملکرد در طول مراحل رویشی و زایشی می‌گردد. پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از نانو کودها می‌تواند ضمن کاهش میزان مصرف کود به دلیل جذب بالاتر آن به علت سطح ویژه زیاد، در جهت بدست آوردن عملکرد بالا مفید واقع شوند. در این پژوهش، به‌منظور بررسی تأثیر نانو ذرات کلات روی بر برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در شرایط کم‌محلول‌دهی (مقادیر متفاوت محلول غذایی: ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر)، بوته‌های توت‌فرنگی با نانو ذرات کلات روی (صفر، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) محلول‌پاشی شدند. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. در پایان دوره آزمایش صفاتی از قبیل کلروفیل a و b برگ، pH، اسیدیته کل[3]، مواد جامد محلول[4]، کاروتنوئید کل، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، وزن، طول و عرض میوه و عملکرد بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بر همکنش تیمارهای کم‌محلول‌دهی و تیمار استفاده از نانو ذرات کلات روی بر وزن میوه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد معنی‌دار بود، به طوری‌که بیشترین میزان، در تیمار ۱۳۰ میلی‌لیتر محلول غذایی و در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانو ذرات کلات روی مشاهده گردید. همچنین، در صفات طول و عرض میوه، pH، اسیدیته کل، مواد جامد محلول، کلروفیل a و b و کاروتنوئید کل اثرات اصلی تیمار محلول‌دهی و تیمار نانو ذرات کلات روی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند. به‌طوری‌که در تیمار نانو ذرات کلات روی، بیشترین میزان این صفات در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانو ذرات و در تیمار کم‌محلول‌دهی نیز بیشترین میزان، در تیمار شاهد (محلول‌دهی کامل) مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش، نشان داد که غلظت ۱/۵ گرم بر لیتر نانو ذرات کلات روی، بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' تحت شرایط کم‌محلول‌دهی داشت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، کود نانو، کم‌محلول‌دهی، میوه، هیدروپونیک

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria× ananassa* Dutch از خانواده Rosaceae میوه‌ی تجاری مهم در جهان بوده که به دلیل دارا بودن ویتامین‌ها، مواد معدنی و مواد فیتوشیمیایی متعدد، به‌طور گسترده‌ای از نظر تغذیه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است (Turhan and Eris, 2005). توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'[5] روزکوتاه، پرگل و شیرین بوده، همچنین ماندگاری و عملکرد بالایی دارد (Torabian *et al.*, 2015). این رقم، نسبت به رقم‌های دیگر مقاوم به آفاتی چون کنه و بیماری‌های قارچی می‌باشد (Scrinis and Lyons, 2007).

تنش کمبود آب یکی از منابع مهم تنش‌های غیرزنده است، به‌طوری‌که باعث کاهش رشد، نمو و کاهش عملکرد در طول مراحل

---

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجویی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ha.hassanpour@urmia.ac.ir)
DOI: 10.22067/JHS.2021.72513.1091

3- TA
4- TSS
5- Sabrina

رویشی و زایشی می‌گردد (Sensoy *et al.*, 2007). کم‌آبیاری یک روش آبیاری است که مقدار کمی تنش به گیاه وارد می‌کند، بنابراین کمترین تأثیر را روی کاهش عملکرد خواهد داشت (Rafiipour *et al.*, 2016; Giné-Bordonaba and Terry, 2016). هدف اصلی در کم‌آبیاری افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد که این امر را می‌توان از طریق کاهش نیاز آبی و حذف بخشی از آب آبیاری که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد ندارد، انجام داد (Howell *et al.*, 2004).

عنصر روی، علاوه‌بر کم‌مصرف بودن، نقش مهمی در گیاهان ایفا می‌کند، به‌طوری‌که کمبود آن موجب کاهش رشد، اختلال در واکنش‌های حیاتی (فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد، ...) و بازدهی گیاه می‌شود (Dewal and Pareek, 2004). این عنصر در سنتز کروموزوم، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم پروتئین‌ها، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ غشاهای زیستی و در مقاومت به عفونت‌ها توسط عوامل بیماری‌زا نقش دارد (Cakmak, 2008Alloway, 2008 ;). همچنین عنصر روی، به‌عنوان کوآنزیم در فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه نقش دارد (Wei *et al.*, 2018).

نانوتکنولوژی یکی از پیشرفت‌های بسیار بدیع و نوظهوری است که با استفاده از نانوذرات که تغییرات فیزیکی و شیمیایی اساسی در آن‌ها ایجاد شده، جایگاه برجسته ای در علوم مختلف از جمله علوم گیاهی و کشاورزی پیدا کرده است (Scrinis and Lyons, 2007). پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از نانوکودها می‌تواند ضمن کاهش میزان مصرف کود به‌دلیل جذب بالاتر آن به‌علت سطح ویژه زیاد، در جهت بدست آوردن عملکرد بالا مفید واقع شوند (Scrinis and Lyons, 2007; Sartip and sirousmehr, 2016). استفاده از نانو ذرات کلات روی، بر عملکرد و سایر ویژگی‌های کمی و کیفی، در محصولات مختلف از جمله انگور و توت فرنگی رقم چندلر[1] تأثیر ات بسیار مثبتی داشته است (Sartip and Sirousmehr, 2016 ; Jayvanth Kumar *et al.*, 2017).

نتایج بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نانو ذرات روی و اکسید آهن بر رشد و عملکرد توت فرنگی رقم چندلردر هند، نشان‌داد که در غلظت‌های ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی و نانو اکسید آهن سبب افزایش صفات مربوط به عملکرد گردید (Jayvanth Kumar *et al.*, 2017).

در پژوهشی تأثیر محلول پاشی نانو روی بر رشد، کیفیت و عملکرد انگور بیدانه مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از ۶ تیمار شامل شاهد (فقط آب)، سولفات روی (۵۶۵ میلی‌گرم در لیتر)، کلات روی (۱۴۰ میلی‌گرم در لیتر)، نانو روی در سه غلظت (۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد. نتایج نشان داد که محلول پاشی انگورها با ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر نانو روی موثرترین تیمار برای افزایش برخی شاخص‌های رویشی (سطح برگ، وزن تر برگ و وزن خشک برگ)، محتوای ماده معدنی برگ (آهن، روی)، کربوهیدرات کل، کیفیت میوه، تعداد خوشه، وزن خوشه و عملکرد آن به کیلوگرم و محتوای آنتوسیانین پوست میوه می‌باشد (El-Hak et al., 2019).

اگرچه پژوهش‌های پیشین (Jayvanth Kumar *et al.*, 2017 ; Sartip and Sirousmehr, 2016)، پتانسیل نانو ذرات کلات روی، در بهبود ویژگیهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان را تأیید کرده‌است، اما اثر این نانو ذرات در بهبود ویژگی‌ها و عملکرد گیاهان در شرایط کم‌محلول‌دهی مورد توجه قرار گرفته‌است، لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر نانو ذرات کلات روی، بر ویژگی‌های کمی و کیفی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در شرایط تنش کم‌محلول‌دهی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مکان و نحوه انجام آزمایش

پژوهش حاضر در گلخانه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه در اول آبان ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد و کاشت تا برداشت محصول حدود ۲۲ هفته به‌طول انجامید. ابتدا سیستم کشت هیدروپونیک باز، طراحی و تنظیم گردیده و سپس نشاءهای توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' با قطر طوقه متوسط ۱ سانتی‌متر از مجتمع گلخانه‌ای و نشاء توت‌فرنگی مهندس صدیق‌نیا در ارومیه تهیه و سپس به مدت ۲۴۰ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در سردخانه نگهداری گشته و نیاز سرمایی نشاها رفع گردید. پس از رفع نیاز سرمایی، نشاها در کیسه‌های کشت به طول ۱ متر و حاوی ۵۰ درصد کوکوپیت، ۲۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت در سه ردیف حاوی ۲۷ بوته کشت و به صورت یکنواخت هرس برگ شدند (شکل ۱). هفته اول به منظور استقرار بوته‌ها از آب استفاده شد و در فاصله زمانی هفته دوم تا هفته ششم به منظور رشد رویشی از محلول هوگلند نیم‌غلظت استفاده شد. بعد از این مرحله یعنی از هفته هفتم تا پایان دوره برداشت، بسته به مراحل گلدهی تا باردهی از محلول غذایی هوگلند تغییر یافته (جدول ۱) استفاده گردید. با محاسبه میزان خروجی محلول از هر نازل و میزان نیاز هر بوته، زمان مورد نیاز برای محلول دهی محاسبه شده و این زمان به ۵ بار در روز تقسیم و به‌صورت اتوماتیک به پای هر بوته پمپ شد (Haghighi, 2010). جهت اعمال تنش کم‌محلول‌دهی، ردیف اول (بدون تنش) با محلول‌دهی ۵ بار در روز، ردیف دوم محلول‌دهی ۴ بار در روز و ردیف سوم محلول‌دهی ۳ بار در روز استفاده شد (Sartip and Sirousmehr, 2016). محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف نانو ذرات کلات روی، بعد از هرس گل‌های اولیه،

1- chandler

از هفته چهاردهم تا هجدهم، هرهفته یکبار (۵ بار) انجام گرفت. نانو ذرات کلات روی، در سه سطح (صفر، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر) استفاده شد و تیمار محلول غذایی نیز در سه سطح (۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتر) به‌صورت روزانه انجام گرفت. سپس میوه‌هایی که بیش از ۷۰ درصد رنگ گرفته بودند، برداشت شده و شاخص‌های مختلف کمی و کیفی در آن‌ها اندازه‌گیری شدند. همچنین از طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد.

نانو کود کلات روی (۱۲ درصد) از شرکت خضراء تهیه شده و حاوی ۱۲ درصد روی کلات شده و قابل جذب برای گیاه در pH های ۳ تا ۱۱ بوده و طراحی شده بر اساس فناوری کلات‌های پیشرفته می‌باشد.



شکل ۱- کشت نشاهای توت‌فرنگی رقم 'سابرینا' در کیسه‌های کشت حاوی ۵۰ درصد کوکوپیت، ۲۵ درصد پیت‌ماس و ۲۵ درصد پرلیت در شرایط گلخانه

Figure 1- The strawberry transplants cv. Sabrina in the growbags (cocopeat50% +peatmoss 25%+perlite 25%) under greenhouse conditions

جدول ۱- غلظت عناصر غذایی در محلول غذایی هوگلند تغییر یافته برای تغذیه گیاهان توت فرنگی 'رقم سابرینا'

Table 1– The concentration of nutrients in the Hoagland nutrient solution is modified to feed strawberry plants

عناصر ماکرو Macro elements	غلظت Concentration (mg.l^{-1})	عناصر میکرو Micro elements	غلظت Concentration (mg.l^{-1})
نیتروژن N	150	بور B	0.67
پتاسیم K	325	منگنز Mn	0.11
فسفر (P	86	روی Zn	0.13
کلسیم Ca	110	مس Cu	0.03
گوگرد S	32	مولیبدن Mo	0.05
منیزیوم Mg	34	آهن Fe	3

صفت‌های مورد بررسی

در پایان آزمایش وزن میوه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، طول و عرض میوه توسط کولیس دیجیتالی (150- 1108)، اسیدیته میوه با دستگاه pH متر (pH- Meter CG 824) ، اسیدیته قابل تیتراسیون[1] با روش تیتراسیون و مواد جامد محلول[2] با استفاده از دستگاه رفراکتومتر (Ceti- Belgium) اندازه‌گیری شد.کلروفیل a، b و کاروتنوئید کل نیز با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر Dynamica (HALODB-20) و روش لیچتنتالر[3] (Lichtenthaler, 1987) ارزیابی شدند و برای محاسبه کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$Chl\ a = 11.75\ A662 – 2.350\ A645$$

1- TA
2- TSS
3- Lichtenthaler

Chl b = 18.61 A645 – 3.960 A662

Car =1000 A470 – 2.270 Chl a- 81.4 Chl b /227

همچنین وزن تر اندام هوایی و ریشه، در مرحله آخر بعد از برداشت میوه‌ها اندازه‌گیری گردید. به‌این‌منظور بوته‌ها به‌طور کامل از بستر خارج شده و ریشه‌ها با آب شسته شده و سپس در معرض هوا قرار داده شدند تا رطوبت آن‌ها از بین برود. سپس قسمت‌های هوایی را از ریشه‌ها جدا کرده و بوسیله ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه‌ها و قسمت‌های هوایی به‌طور جداگانه در پاکت قرار داده و سپس به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه گذاشته و سپس با ترازوی دیجیتال ۰/۰۰۱ گرم وزن شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور و سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گردید. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

طول و عرض میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، بر طول و عرض میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، در تیمار نانو کلات روی، بیشترین (۴/۵ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۲ سانتی‌متر) میزان طول میوه به ترتیب در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی، و تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۲-a). همچنین در تیمار کم‌محلول‌دهی، بیشترین (۴/۴ سانتی‌متر) و کمترین (۳/۱ سانتی‌متر) میزان طول میوه به ترتیب در تیمار شاهد و محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر مشاهده شد (شکل ۲-b). در مورد عرض میوه نیز بیشترین و کمترین عرض میوه (۳/۹ و ۲/۷ سانتی‌متر) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به‌دست آمد. در تیمار کم‌محلول‌دهی بیشترین و کمترین عرض میوه (۳/۹۵ و ۲/۵۹ سانتی‌¬متر) به ترتیب در تیمار ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر دیده شد (شکل ۳-a و b).

کم‌محلول‌دهی سبب کاهش اندازه میوه گردید. مشابه پژوهش حاضر در پژوهشی دیگر گزارش شد که کم‌محلول‌دهی سبب کاهش اندازه میوه در خربزه می‌شود (Sensoy *et al.*, 2007). عنصر روی، در گیاهان نقش مهمی ایفا می‌کند به‌طوری که کمبود آن موجب کاهش رشد، اختلال در واکنش‌های حیاتی و بازدهی گیاه می‌شود. این عنصر در سنتز کروموزوم، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم پروتئین‌ها، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ غشاهای زیستی و در مقاومت به عفونت‌ها توسط عوامل بیماری‌زا دخیل است.

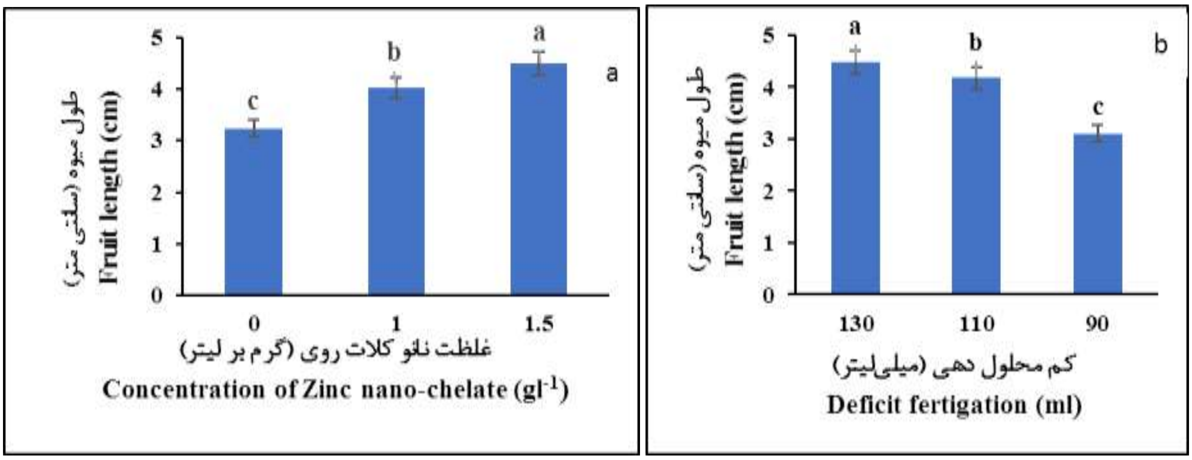
جدول ۲- تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیکی توت فرنگی رقم 'سابرینا' تحت تاثیر تیمار کم محلول‌دهی و نانو کلات روی

Table 2- ANOVA for some morphological traits of strawberry cv. Sabrina using deficit fertigation and nano-chelate treatment

منابع تغییرات Source of variation	DF	طول میوه Fruit length	عرض میوه Fruit width	وزن میوه Fruit weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن تر اندام هوایی Aerial parts fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Aerial parts dry weight	عملکرد Yirld
		میانگین مربعات Mean squares							
(a)کم محلول دهی Deficit fertigation	2	4.64**	4.06**	1723.06**	85.84**	4062.84**	14.86**	1961.4**	190319.9**
(b)نانو کلات روی Nano-chelate Zn	2	34.90**	34.9**	525.22**	2.80 ns	188.71*	1.82**	492.1**	60233.5**
a*b	4	0.70ns	0.70ns	26.92**	1.54 ns	36.28 ns	0.31 ns	81.82*	2900.47**
اشتباه آزمایشی Error	18	0.10	0.105	5.35	1.17	42.71	0.183	25.84	598.61
CV (%)		6/68	8.01	9.53	8.28	51.8	8.006	15.54	7.57

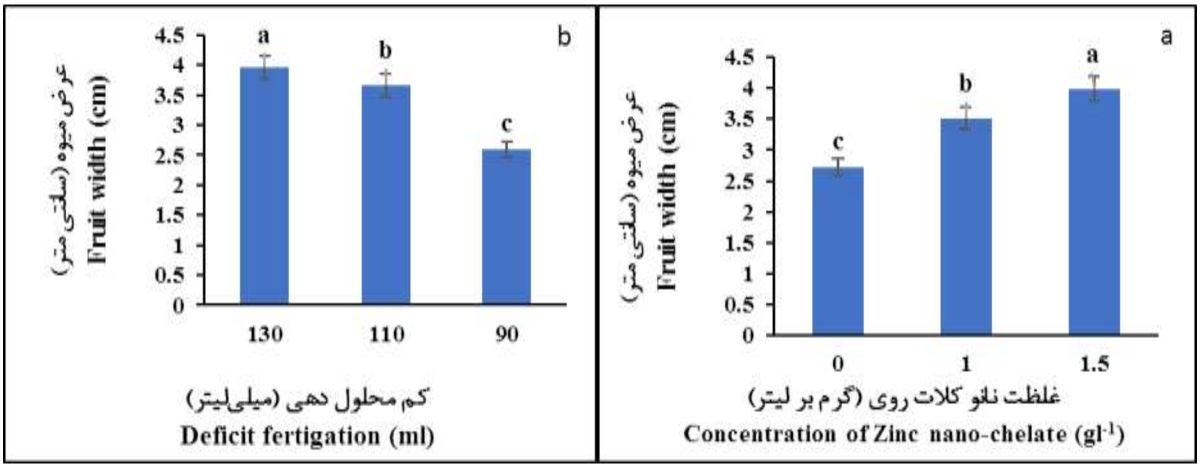
ns،*و** : به ترتیب غیر معنی دا و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۲- اثر ساده نانو ذرات کلات روی (a) و کم‌محلول‌دهی (b) بر طول میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 2- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on fruit length of *Fragaria*× *ananassa* Dutch cv. Sabrina



شکل ۳- اثر نانو ذرات کلات روی (a) و کم‌محلول‌دهی (b) بر عرض میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

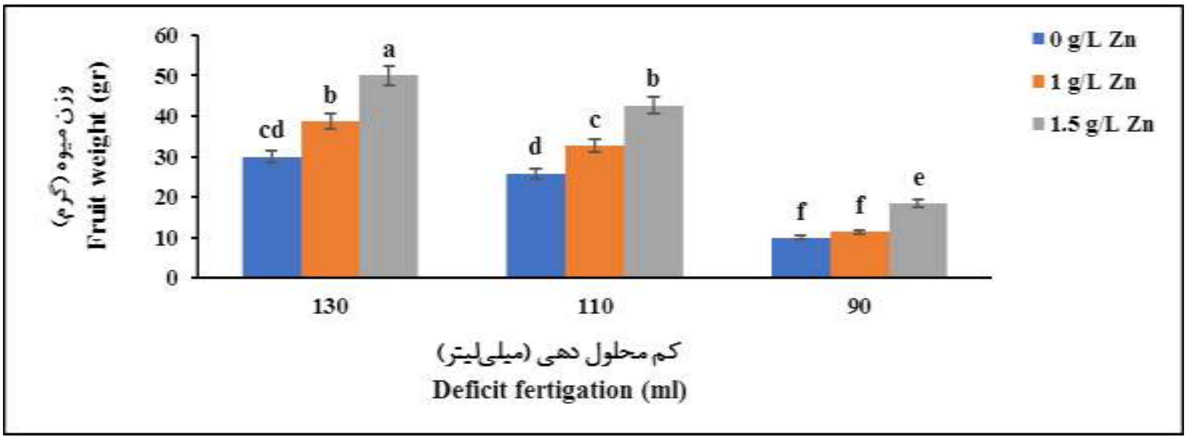
Figure 3- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on fruit width of *Fragaria*× *ananassa* Dutch cv. Sabrina

عنصر روی، همچنین برای تولید کلروفیل، عملکرد دانه گرده، باروری و جوانه زنی دانه گرده نیز نیاز است. همچنین عنصر روی، به عنوان کوآنزیم در فعال سازی بسیاری از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه نقش دارد (Showemimo and Olarewaju, 2007). از طرفی طبق یافته های کاسترو و مایر (Castr and Sotomayor, 1997) وجود عنصر ریز مغذی روی، برای داشتن میوه‌ای با اندازه مطلوب مورد نیاز است. عنصر روی، با تأثیر خود در سنتز اکسین نقش مهمی در اندازه میوه دارد (Janik, 1984). همچنین عنصر روی، با تأثیر در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها سبب افزایش رشد میوه‌ها می‌گردد (Ranjbar and shams, 2009). در پژوهشی تأثیر محلول‌پاشی روی، بر انگور را بررسی شده و گزارش شد که تیمارهای حاوی روی، باعث افزایش وزن خوشه و افزایش طول حبه گردید (Doulati Baneh *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر که بر روی بادام انجام گرفت پژوهشگران اظهار داشتند که محلول-پاشی بر و روی، بیشترین تأثیر را بر طول و عرض میوه داشته است که این نتایج با نتایج ما در این پژوهش مطابقت دارد (Ghaderi *et al.*, 2003).

وزن میوه و وزن تر و خشک اندام‌های هوایی

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی، نانو ذرات کلات روی و برهمکنش آن‌ها بر وزن میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. داده‌های مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان وزن تک میوه (۵۰) در تیمار شاهد (محلول‌دهی کامل) و غلظت ۱/۵ گرم در لیتر نانو ذرات کلات روی بدست آمد (شکل ۴). در مقابل کمترین میزان وزن میوه (۹/۹۳ گرم در بوته) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و غلظت صفر نانو

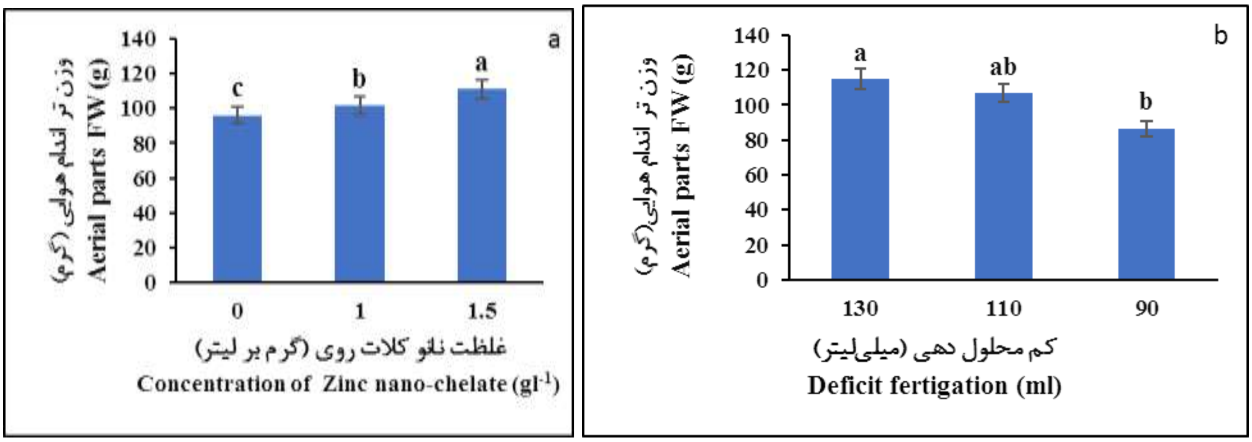
ذرات مشاهده گردید (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصله، می‌توان بیان کرد که با افزایش میزان کم‌محلول‌دهی از وزن میوه‌ها کاسته شده ولی با افزایش غلظت نانو ذرات کلات روی، وزن میوه‌ها بیشتر شده است (شکل ۴).



شکل ۴- بر همکنش نانو ذرات کلات روی × کم‌محلول‌دهی بر وزن میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

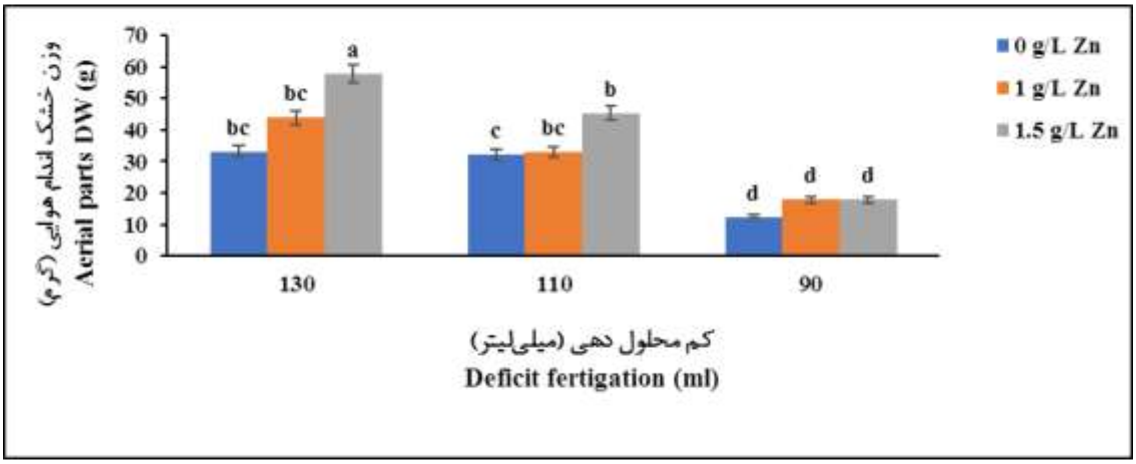
Figure 4- The interaction effect of Zinc nano-chelate ×deficit fertigation on fruit weight of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس بیانگر این است که در رابطه با وزن تر اندام هوایی نیز اثر اصلی کم‌محلول‌دهی بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد و نانو کلات روی، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر اندام هوایی (۱۱۰/۹۳ گرم در بوته) در غلظت نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۹۵/۹۵ گرم) در تیمار شاهد و در تیمار کم‌محلول‌دهی بیشترین و کمترین میزان (۱۱۴/۹۶ و ۸۶/۶۴ گرم) به‌ترتیب در کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر دیده شد (شکل ۵). در مورد وزن خشک اندام هوایی اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، در سطح احتمال ۱ درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک اندام هوایی (۸۷/۸ گرم در بوته) در تیمار کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۴۲/۴۶ گرم در بوته) در تیمار کم‌محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی، صفر گرم در لیتر به‌دست آمد (شکل ۶).



شکل ۵- اثر نانو ذرات کلات روی (a) × کم‌محلول‌دهی (b) بر وزن تر اندام هوایی توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 5- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on aerial parts fresh weight of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina



شکل ۶- بر همکنش نانو ذرات کلات روی × کم‌محلول‌دهی بر وزن خشک اندام هوایی توت‌فرنگی رقم ’سابرینا‘

Figure 6- The interaction effect of Zinc nano-chelate ×deficit fertigation on aerial parts dry weight of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina

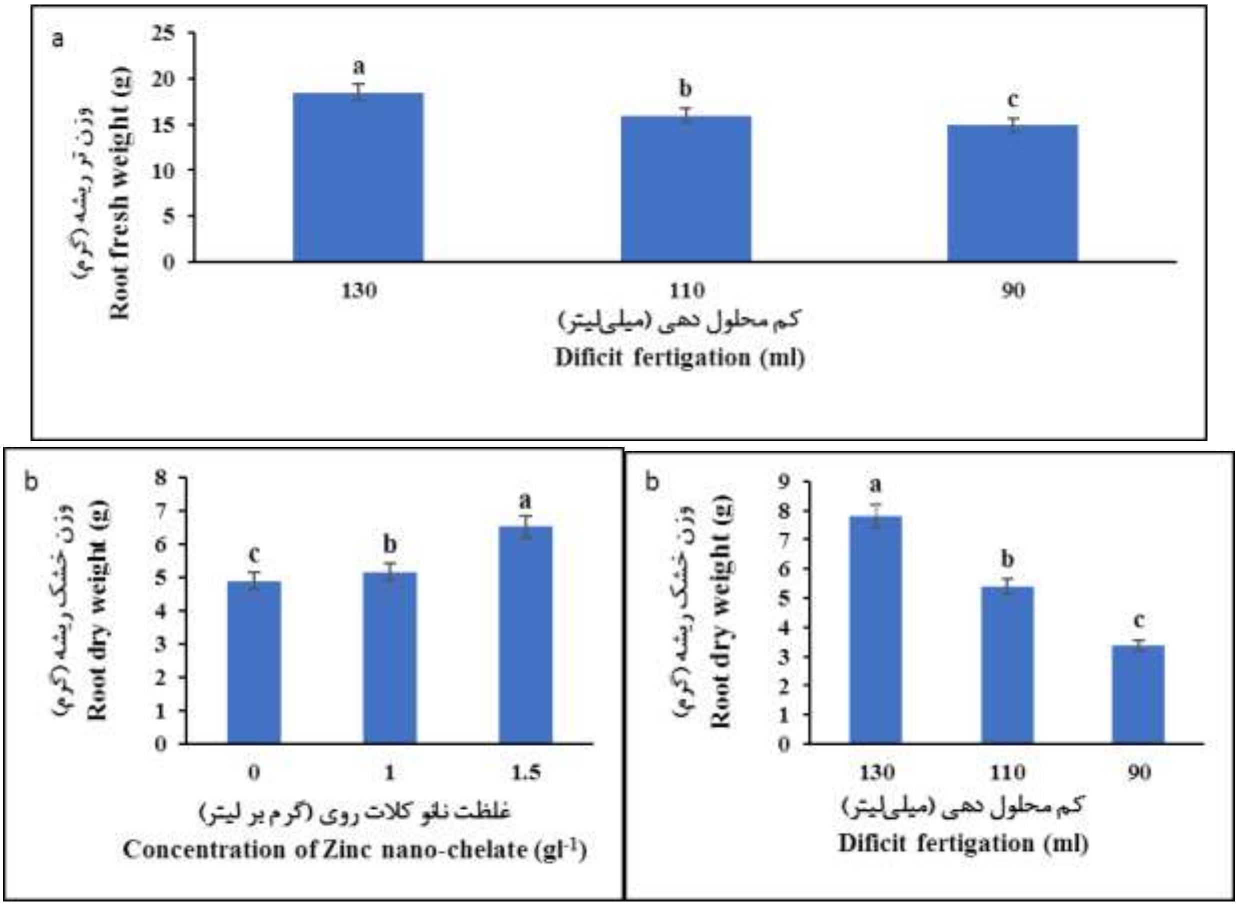
وزن تر و خشک ریشه

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر اصلی کم‌محلول‌دهی بر وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما اثر اصلی نانو کلات روی و برهمکنش کم محلول‌دهی و نانو کلات روی معنی‌دار نگردید، به‌طوری که بیشترین وزن تر ریشه (۱۸/۵ گرم در بوته) در تیمار کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و کمترین مقدار آن (۱۴/۹۲ گرم در بوته) در تیمار کم محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر به‌دست آمد (شکل ۷-a). در مورد وزن خشک ریشه نیز اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید. بیشترین وزن خشک ریشه (۶/۵۳ گرم در بوته) در غلظت نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۴/۸۹ گرم در بوته) در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۷-c). بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه (۷/۸ و ۳/۳۷ گرم در بوته) به ترتیب در کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر دیده شد (شکل ۷ -b).

با توجه به نتایج حاصله، می‌توان بیان کرد که با افزایش میزان کم‌محلول‌دهی از وزن میوه‌ها کاسته شده ولی همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد با افزایش غلظت نانو ذرات کلات روی، وزن میوه‌ها بیشتر شده‌است. درپژوهشی دیگر گزارش شد که تنش خشکی باعث کاهش وزن میوه و عملکرد گیاه خربزه شد (Barzegar *et al.*, 2013). همچنین، حقیقی (Giné-Bordonaba and Terry, 2016) گزارش نمود که تنش خشکی از طریق کاهش دسترسی به دی اکسیدکربن و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز خالص و همچنین کاهش دسترسی به مواد غذایی باعث کاهش وزن خشک اندام هوایی در میوه گوجه‌فرنگی شده است (Garcia-sanchez *et al.*, 2006) که در مطالعه‌ی حاضر نیز همین نتایج مشاهده شد. کاهش وزن میوه احتمالاً به دلیل کاهش رشد گیاه و فتوسنتز همراه با پیری برگ‌ها در اثر تنش به گیاه است، همچنین، تنش آبی با کاهش جذب نیتروژن و استفاده آن توسط گیاه، مانع بزرگ‌شدن سلول‌ها شده و سطح برگ و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Sarker *et al.*, 2005). به نظر می‌رسد که عنصر روی، از طریق فعال کردن آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین و کربوهیدرات، اسید نوکلئیک از طریق نقش در تقسیم میتوز و متابولیسم لیپیدها توانسته میزان فتوسنتز خالص را بالا ببرد از کاهش ورن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه و همچنین از کاهش وزن میوه در اثر تنش کم محلول‌دهی جلوگیری کند (Abbasi *et al.*, 2019). از طرف دیگر، جذب راحت نانو کود روی، باعث تأثیر بیشتر آن‌ها نسبت به سایر کودهای شیمیایی شده‌است. محلول‌پاشی این عنصر می‌تواند عملکرد، کیفیت محصولات و شاخص‌های رشدی گیاه (طول و عرض و وزن میوه و...) را افزایش دهد (Ranjbar and Shams, 2009). در پژوهشی روی انگور، مشاهده شدکه کاربرد روی، سبب افزایش معنی‌داری در وزن و اندازه‌ی حبه شد (Hosseini Farahadi *et al.*, 2009). در آزمایشی دیگر گزارش شد نشان دادند که کاربرد روی، سبب افزایش وزن و تعداد میوه توت‌فرنگی شد (Lolaei *et al.*, 2013)، که این نتایج با نتایج ما در این پژوهش مطابقت دارد.

علاوه‌براین استفاده از نانو کلات روی، به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز خالص و تأثیر در تولید هورمون‌های رشد از جمله اکسین سبب افزایش رشد ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد. در پژوهشی دیگر راسی و همکاران (Rossi *et al.*, 2019) تأثیر محلول پاشی برگی سولفات روی و نانو ذرات روی را در گیاه قهوه با هدف درک اثرات آن‌ها بر فیزیولوژِی گیاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وزن تر ریشه۳۷ درصد و برگ ۹۵ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت. وزن خشک نیز در ریشه، ساقه و برگ به ترتیب ۲۸

درصد، ۸۵ درصد و ۲۰ درصد افزایش پیدا کرد. میزان فتوسنتز خالص در پاسخ به تیمار نانو ذرات روی در پایان آزمایش، ۵۵ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش پیدا کرده بود که نتایج پژوهش حاضر نیز با پژوهش‌های بیان شده مطابقت داشت.



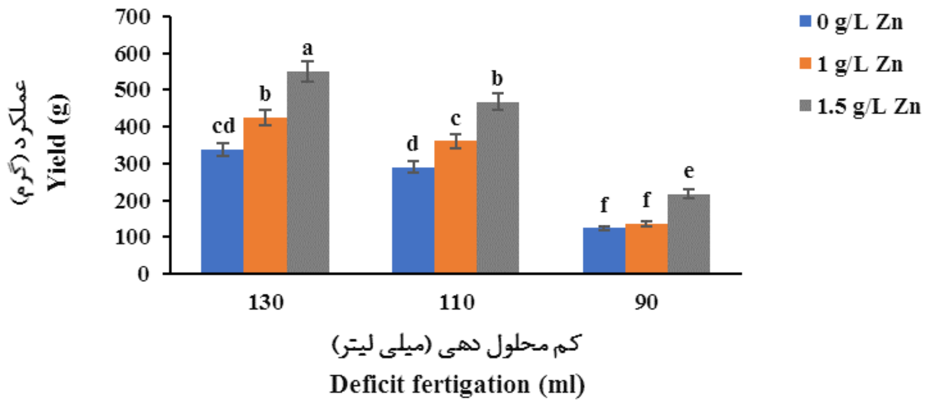
شکل ۷- بر همکنش نانو ذرات کلات روی× کم‌محلول‌دهی بر وزن خشک ریشه (a) و اثر نانو ذرات کلات روی (b) و کم محلول‌دهی (c) بر وزن تر ریشه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 7- The interaction effect of Zinc nano-chelate × deficit fertigation on root fresh weight (a), and the effect of Zinc nano-chelate (b) and deficit fertigation (b) on root dry weight of *Fragaria× ananassa* cv. Sabrina

پژوهش‌های قبلی نشان داده است که در شرایط کمبود آب، میزان جذب مواد غذایی کاهش یافته و ظرفیت فتوسنتز کل و رشد گیاه تحلیل می‌یابد و سبب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه می‌شود (Bota *et al.*, 2004Lebon *et al.*, 2006 ;) که نتایج پژوهش انجام شده نیز در همین راستا می‌باشد.

عملکرد بوته

همانطور که نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی، نانو کلات روی و اثر برهمکنش آن‌ها بر عملکرد میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و براساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین عملکرد میوه (۵۵۰/۳۹ گرم در بوته) در تیمار کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین مقدار آن (۱۲۳/۵۶ گرم) در تیمار کم‌محلول‌دهی ۹۰ میلی‌لیتر و نانو کلات روی صفر گرم در لیتر به‌دست آمد (شکل ۸). به طور کلی در شرایط تنش (از جمله تنش کم محلول‌دهی) به علت کاهش سطح برگ، محتوی هیدرات‌کربن برگ کاهش یافته و به دنبال آن فتوسنتز نیز محدود می‌گردد، که می‌تواند عاملی برای کاهش عملکرد در گیاه گردد (Abbasi *et al.*, 2019). هر گیاهی جهت تولید میوه بیشتر و رشد بهتر و دستیابی به عملکرد بالا به رشد رویشی مناسب و ذخایر غذایی کافی نیازمند است که این امر با جذب بهینه آب و مواد غذایی ممکن خواهد بود بنابراین استفاده از نانو ذرات روی، سبب فعال شدن آنزیم‌های مختلف و هورمون‌های رشدی از جمله اکسین در گیاه می‌شود و سبب افزایش تولید ماده خشک عملکرد میوه و دانه می‌گردد (Wang and Duan, 2006).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل نانو ذرات کلات روی و کم محلول‌دهی بر عملکرد میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا

Figure 8- Mean comparison interaction effect of Zinc nano-chelate and deficit fertigation on yield of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina

کمبود روی، سبب تخریب غشا سلولی، حساسیت گیاه بـه تـنش گرمایی، کاهش سنتز کربوهیدرات‌ها و کلروفیل مـی‌شـود، از طـرف دیگر عنصر روی، باعث افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی و انتقال بهتـر مواد فتوسنتزی شده و به این ترتیب عملکرد را افزایش می‌دهد (Wei *et al.*, 2018).

در پژوهش مشابه، در پژوهشی تاثیر فـرم‌هـای مختلـف روی بـر ویژگی‌های میوه و آب میوه انار[1] رقم ملس تبریزی مورد بررسی قـرار دادند. نتایج آن‌ها، نشان داد که انجام محلول‌پاشی نانو کودهای کلات روی وکلات بور سبب افزایش تعداد میوه و عملکرد و همچنین بهبود کیفیت میوه انار شد (Showemimo and Olarewaju, 200).

اسیدیته کل، pH، مواد جامد محلول

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد کـه اثـرات اصلی کم‌محلول‌دهی بر اسیدیته کل و pH در سطح احتمال ۱ درصد و نـانو کـلات روی در سـطح احتمـال ۵ درصـد معنـی‌دار بـود امـا برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید. به‌طـوری‌کـه بیشـترین و کمتـرین اسیدیته کل (۰/۶۴ و ۰/۴۹ درصد) به ترتیب در تیمار ۱/۵ میلـی‌گـرم در لیتر و شاهد به‌دست آمد (شکل ۹). در تیمار کـم‌محلـول‌دهـی نیـز بیشترین و کمترین اسیدیته کل (۰/۶۸ و ۰/۵۰ درصد) بـه ترتیـب در تیمار ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر کم‌محلول‌دهی دیده شد. در مـورد pH نیـز بیشترین میزان pH (۳/۶) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین میـزان آن (۳/۴۶) در تیمـار شـاهد بـه‌دسـت آمـد. در تیمـار کم‌محلول‌دهی نیز بیشترین و کمترین pH (۳/۶۴ و ۳/۴) به‌ترتیب در تیمار ۹۰ و ۱۳۰ میلی‌لیتـر کـم‌محلـول‌دهـی دیـده شـد (شـکل ۱۰). همچنین، اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، بر مواد جامد کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما بـرهمکنش بـرهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید، طوری‌که بیشترین و کمترین مـواد جامـد کـل (۷/۷۹ و ۶/۱۲ درصد) به ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کـلات روی و شاهد و در تیمار کم‌محلول‌دهی نیز بیشترین مـواد جامـد کـل (۸/۱۹ درصـد) در تیمـار ۹۰ میلـی‌لیتـر و کمتـرین میـزان آن (۶/۲۷ درصد) در تیمار ۱۳۰ میلی‌لیتر کم‌محلول‌دهی دیده شد (شکل ۱۱).

در بیشتر میوه‌ها در ضمن رسیدن، میزان زیادی از اسیدهای آلـی مصرف می‌شوند در نتیجه، کاهش اسیدهای آلی موجب افـزایش pH می‌شود (Cheng *et al.*, 2009) از آنجـایی کـه عـلاوه بـر اسـیدها سایرمواد موجود مانند قندها نیز بر pH تأثیر می‌گذارنـد ایـن افـزایش pH در اکثر میوه‌هـا متفـاوت مـی‌باشـد (Perkins-Vaezie *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای دیگر تاثیر نانو اکسید روی بر رشد و عملکرد و خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی رقم کاماروزا تحت شرایط کشـت بدون خاک بررسی شد و نتایج حاصل نشان داد که کاربرد نانو اکسـید روی، میزان کربوهیدرات محلول میوه، مواد جامـد محلـول، اسـیدیته قابل تیتراسیون، فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین کل، ویتامین ث و سـفتی بافت میوه را افزایش داد اما بر pH و ظرفیـت آنتـی اکسـیدانی میـوه تاثیری نداشت. در بین تیمارها، تیمـار ۰/۰۱ میلـی‌گـرم در لیتـر نـانو اکسید روی، همراه محلول غذایی بیشترین تأثیر را داشت (Ashrafi, 2018). همچنین عنصـر روی نقـش قابـل تـوجهی در حمـل و نقـل کربوهیدرات‌ها دارد و سبب می‌شود که قندها به صورت منظم‌تری در داخل گیاه مصرف شوند. طبق تحقیقات انجام شده می‌توان گفت کـه افزایش قند محلول در اثر کاربرد نـانو کـلات روی، عمـل مـوثری در کاهش pH محصول است از طـرف دیگـر بـا رسـیدگی محصـول از میزان اسیدهای آلـی آن کاسـته شـده و اسـیدیته محصـول افـزایش می‌یابد (Jayvanth Kumar *et al.*, 2017).

1- *Punica granatum*

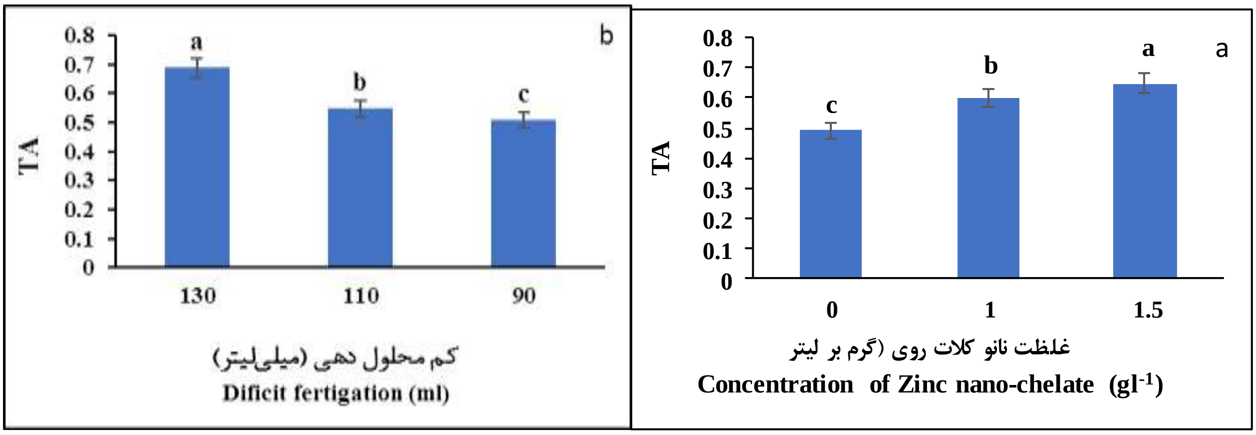
جدول ۳- تجزیه واریانس صفات بیوشیمیایی توت فرنگی رقم 'سابرینا' تحت تاثیر تیمار کم محلول‌دهی و نانو کلات روی

Table 3- ANOVA for the biochemical traits of strawberry cv. Sabrina under using deficit fertigation and nano-chelate treatment

منابع تغییرات Source of variation	DF	میانگین مربعات Mean Squares TA	pH	TSS	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoid
کم محلول دهی (a) Deficit fertigation	2	0.176**	0.128**	9.26**	2.283**	0.912**	2.48**
نانو کلات روی (b) Nano-chelate Zn	2	0.018*	0.043*	6.48**	0.925**	0.084ns	0.818**
a*b	4	0.0036ns	0.00357ns	0.34ns	0.153 ns	0.035ns	0.133ns
اشتباه آزمایشی Error	18	0.0054	0.00748	0.824	0.117	0.065	0.089
CV (%)		13.53	2.45	12.88	13.54	14.52	16.39

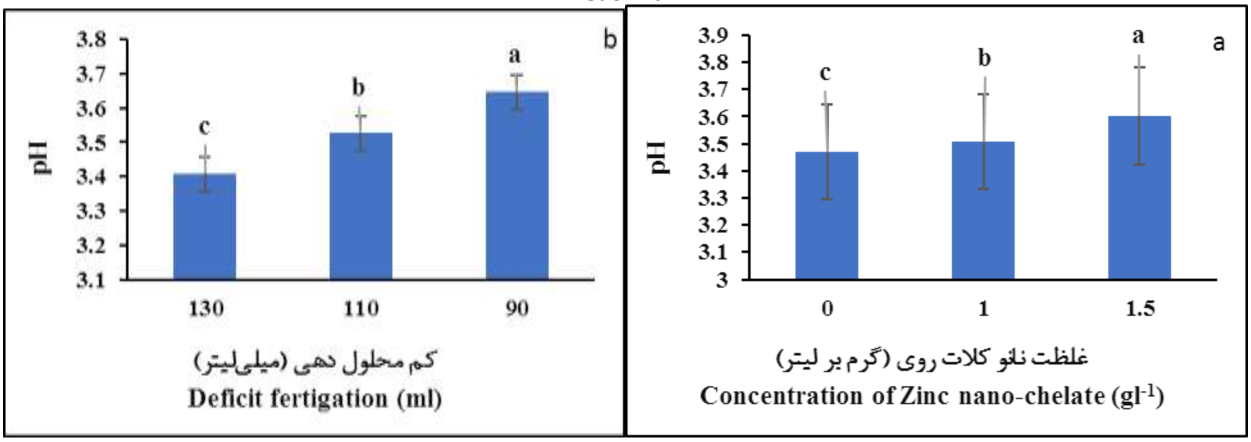
ns،*و** : به ترتیب غیر معنی دار و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: non-significat and significant at the 5% and 1% of probability levels , respectively.



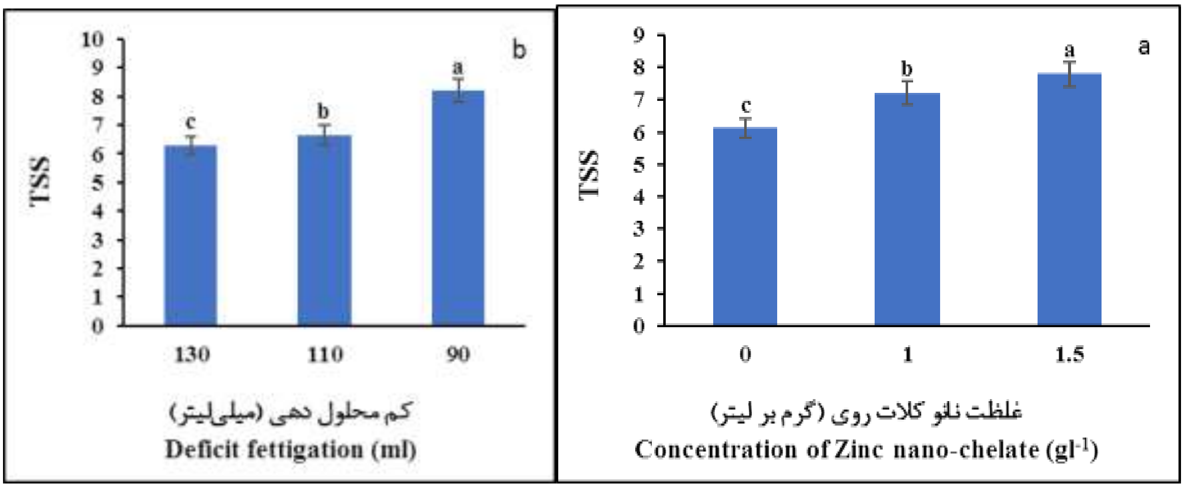
شکل ۹- اثر نانو ذرات کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر میزان TA میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 9- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on TA content of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina



شکل ۱۰- اثر نانو ذرات کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر میزان pH میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 10- Theeffect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on fruit pH of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina



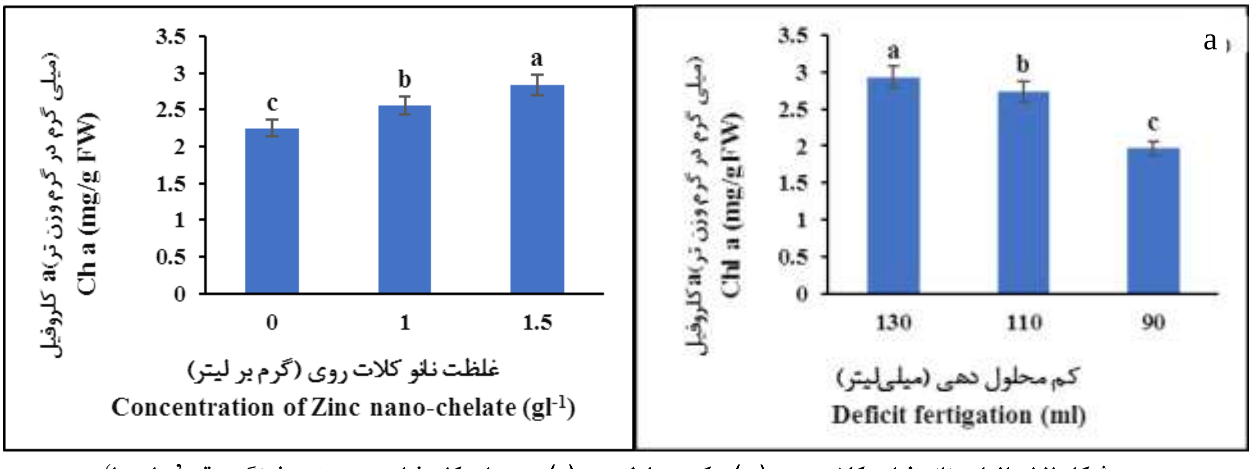
شکل ۱۱- اثر نانو ذرات کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (b) بر میزان TSS میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 11- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on fruit TSS of *Fragaria*× *ananassa* Dutch cv. Sabrina

در تحقیق حاضر نیز کاربرد نانو کلات روی، این روند را تسریع کرده است که با مطالعات قبلی مطابقت دارد.

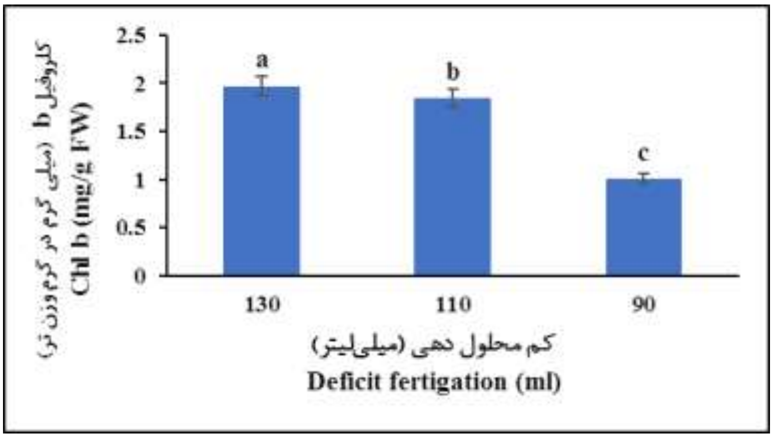
کلروفیل a و b و کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثرات اصلی کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، بر کلروفیل a و کاروتنوئید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نگردید. در مورد کلروفیل b، اثر اصلی کم‌محلول‌دهی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود اما اثر اصلی نانو کلات روی و برهمکنش کم‌محلول‌دهی و نانو کلات روی، از نظر آماری معنی‌دار نگردید. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۸۳ میلی‌گرم در وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و کمترین میزان آن (۲/۲۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۱۲). همچنین همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a (۲/۹۳ و ۱/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر کم‌محلول‌دهی مشاهده شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شکل ۱۳ مشخص می‌شود که بیشترین و کمترین میزان کلروفیل b (به ترتیب ۱/۹۷ و ۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به ترتیب در کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر به‌دست آمد. در مورد کارتنوئید، بیشترین و کمترین میزان (۲/۰۹ و ۱/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌ترتیب در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر نانو کلات روی و شاهد به‌دست آمد و در تیمار کم‌محلول‌دهی نیز بیشترین و کمترین میزان (۲/۲۱ و ۱/۱۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) به‌ترتیب در تیمار کم‌محلول‌دهی ۱۳۰ و ۹۰ میلی‌لیتر به‌دست آمد (شکل ۱۴).



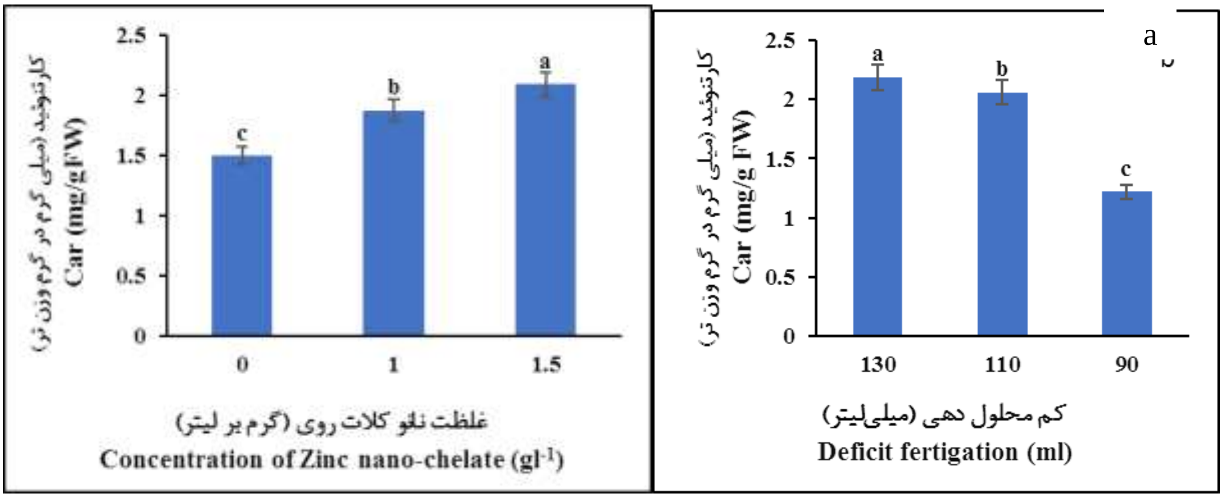
شکل ۱۲- اثرات نانو ذرات کلات روی (a) و کم محلول‌دهی (a) بر میزان کلروفیل a میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 12- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on Chlorophyll acontent of *Fragaria*× *ananassa* Dutch cv. Sabrina



شکل ۱۳- اثر کم محلول‌دهی بر میزان کلروفیل b توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 13- The effect of deficit fertigation on Chlorophyll b content of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina



شکل ۱۴- اثر نانو ذرات کلات روی (a) و کم‌محلول‌دهی (b) بر میزان کاروتنوئید میوه توت‌فرنگی رقم 'سابرینا'

Figure 14- The effect of Zinc nano-chelate (a) and deficit fertigation (b) on carotenoid content of *Fragaria× ananassa* Dutch cv. Sabrina

تنش خشکی مانع از فتوسنتز گیاهان شده و سبب تغییر در محتویات کلروفیل، صدمه به دستگاه فتوسنتزی و کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین می‌شود (Abass and Mohamed, 2011). همچنین، تنش خشکی، سبب کاهش آنزیم گلوتامات لیگاز گشته و مانع از فتوسنتز گیاهان می‌گردد (Akbari *et al.*, 2014). در پژوهش حاضر استفاده از نانو ذرات روی، سبب افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید گردید. کاروتنوئیدها با استفاده از چرخه گزانتویل و با واکنش‌های اپواکسیداسیون[1] و دپواکسیداسیون[2]، میزان مصرف اکسیژن را کاهش داده و در مقابل اکسیداسیون نوری از ساختار کلروفیل محافظ می‌کند (Sairam *et al.*, 1998). به‌نظر می‌رسد جذب بهتر نانو کلات روی، توسط برگ‌ها به دلیل کوچک بودن ذره سبب در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه شده و چون روی عنصر ضروری در فرایند فتوسنتز می‌باشد سبب افزایش کلروفیل می‌شود (Dewal and Pareek, 2004). همچنین، روی به علت کمک به افزایش رشد رویشی، بهبود سیستم فتوسنتزی، افزایش کلروفیل و سطح برگ منجر به افزایش کارایی برگ طی فتوسنتز می‌گردد (Abbasi *et al.*, 2019). در پژوهشی که به‌منظور ارزیابی مکانیکی انتقال و تاثیر فیزیولوژیکی نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید و نانو روی، بر گیاه گوجه‌فرنگی انجام دادند بیان‌کردند که استفاده از این نانو ذرات سبب افزایش میزان کلروفیل، ارتفاع گیاه و زیست‌توده گردید (Raliya et al., 2015). آنجایی که آهن و روی جزء عناصر ضروری در فرآیند فتوسنتز می‌باشند، از نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و روی با در دسترس قرار دادن سریع مواد غذایی در طی مراحل رشد گیاه و

1- Epoxidation
2- Depoxidation

به‌علت کمک به افزایش رشد رویشی، بهبود سیستم فتوسنتزی، افزایش کلروفیل و سطح برگ منجر به افزایش کارایی برگ طی فتوسنتز شده که نتیجه آن افزایش عملکرد است (Abbasi *et al.*, 2019). بنابراین با توجه به آنچه اشاره شد می‌توان انتظار داشت که کاربرد عنصر روی منجر به افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در پژوهش انجام شده است.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌محلول‌دهی باعث کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی شد. استفاده از غلظت‌های مختلف نانوکلات‌روی، سبب بهبود این ویژگی‌ها گردید، به‌طوری‌که بیشترین تاثیر مربوط به غلظت ۱/۵ گرم بر لیتر نانوکلات‌روی بود. این غلظت، عملکرد محصول را بیش از ۱/۶ برابر نسبت به نمونه شاهد در محلول‌دهی کامل و بیش از ۱/۷ برابر نسبت به رژیم کم محلول‌دهی افزایش داد. همچنین، صفات رشدی مورد مطالعه نیز با کاربرد نانوکلات‌روی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داشتند. این نانو ذرات، با کاهش میزان اسیدیته و افزایش مواد جامد محلول میوه شدند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از غلظت‌های مختلف نانو ذرات‌کلات‌روی، می‌تواند ویژگی‌های کیفی و کمی توت فرنگی به‌خصوص عملکرد را در شرایط کم‌محلول‌دهی افزایش دهد که در بین غلظت‌های مختلف نانوکلات روی، غلظت ۱/۵ گرم در لیتر بیشترین تاثیر را داشته است.

منابع

1. Abass S.M., and Mohamed H.I. 2011. Alleviation of adverse effects of drought stress on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by exogenous application of hydrogen peroxide. Bangladesh Journal of Botany 40(1): 75-83. 140. http://doi: 10.3329/bjb.v40i1.8001.
2. Abbasi N., CHeraghi J., and Hajinia S. 2019. Effect of iron and zinc micronutrient foliar application as nano and chemical on physiological traits and grain yield of two bread wheat cultivars. Crop Physiology 3(43): 85-104. (In Persian)
3. Akbari G.A., Morteza E., Moaveni P., Alahdadi I., Bihamta M.R., and Hasanloo T. 2014. Pigments apparatus and anthocyanins reactions of borage to irrigation, methylalchol and titanium dioxide. International Journal of Biosciences 4: 192-208. http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.7.192-208.
4. Alloway B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2nd edition, IZA (International Zinc Association) and IFA (International Fertilizer industry Association), Brussels, Belgium and Paris, France.
5. Ashrafi S. 2018. Effect of nano zinc oxide on growth, yield and qualitative characteristics of strawberry fruit of camarosa cultivar under soilless cultivation conditions. Master Thesis, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan. 85 p.52. (In Persian)
6. Barzegar Z., Mobli M., Khoshgoftarmanesh A., and Abedi J. 2013. The effect of different planting media on the growth and development of greenhouse bell pepper. 8th Iranian Congress of Horticultural Sciences. 7-4 September. (In Persian)
7. Bota J., Stasyk O., Flexas J., and Medrano H. 2004. Effect of water Stress on partitioning of 14 C-labelled photosynthates in *Vitis vinifera*. Functional Plant Biology 31(7): 697-708. http://dx.doi.org/10.1071/FP03262
8. Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. Plant and Soil 302: 1-17. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3.
9. Castr J., and Sotomayor C. 1997. The influence of boron and zinc sprays bloomtime on almond fruit set. Acta Horticulturae 470: 402-405. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.470.55.
10. Cheng G., Yang E., Lu W., Jia Y., Jiang Y. and Duan X. 2009. Effect of nitric oxide on ethylene synthesis and softening of banana fruit slice during ripening. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57: 5799–5804. https://doi.org/10.1021/jf901173n.
11. Dewal G.S., and Pareek R.G. 2004. Effect of phosphorus, sulphur and zinc on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*). Indian Journal of Agronomy 49(3): 160-162.
12. Doulati Baneh H., Mohammadzade M., and Ghani Shayeste F. 2018. Effects of Ca, Mg and GA3 spray on bunch stem necrosis disorder in grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Sefid). Journal of Horticultural Science 32(1): 109-122. (In Persian) https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V32I1.61849.
13. El-Hak R.E.S.A., El-Said S.A.E.A., El-Shazly A.A.E.F., El-Gazzar M., Shaaban E.A.E.A., and Saleh M.M.S. 2019. Efficiency of Nano-Zinc foliar spray on growth, yield and fruit quality of Flame seedless grape. Journal of Applied Sciences 19(6): 612-617. https://doi.org/10.3923/jas.2019.612.617.
14. Garcia-sanchez F., Syvertsen J.P., Martinez V., and Melgar J.C. 2006. Salinity tolerance of Valencia orange trees on rootstocks with contrasting salt tolerance is not improved by moderate shade. Journal of Experimental Botany 121: 1-10. https://doi.org/10.1093/jxb/erl121.
15. Ghaderi N., Vezvaei A., Talaei A.R., and Babalar M. 2003. Effect of boron and zinc foliar spraying as well as concentrations of these elements on some leaf and fruit characteristics of almond. Iranian Journal of Science and

Technology 34(1): 127-135. (In Persian)

16. Giné-Bordonaba J., and Terry L.A. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit and leaves. Scientia Horticulturae 199: 63-70. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.026.
17. Haghighi M. 2010. The effect of partial root zone drying on water relations, growth, yield and some qualitative attributes of tomato. Soil and Plant Interactions (Journal of Science and Thecnology of Greenhouse Culture) 1(2): 9-17. (In Persian)
18. Hooshmand M., Albaji M., and Zadeh Ansari N.A. 2019. The effect of deficit irrigation on yield and yield components of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum*) in hydroponic culture in Ahvaz region, Iran. Scientia Horticulturae 254: 84-90. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.084.
19. Hosseini Farahadi M., Goodarzi K., and Kavoosi B. 2009. Correction of Zn deficiency and increasing of yield via trunk injection method on grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv Askari. Journal of Horticultural Sciences 23(2): 108-118. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V1388I2.2591.
20. Howell T.A., Evett S.R., Tolk J.A., and Schneider A.D. 2004. Evaporation of full and deficit-irrigated, and dry land cotton on the Northern Texas High Plains. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 130(4): 277-285. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(277).
21. Janik J. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. Horticultural Reviews 6: 289-338. https://doi.org/10.1002/9781118060797.ch8.
22. Jayvanth Kumar U., Vijay Bahadur V.M. Prasad, Saket Mishra, and Shukla, P.K. 2017. Effect of different concentrations of iron oxide and zinc oxide nanoparticles on growth and yield of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. chandler. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6(8): 2440-2445. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.288
23. Lebon E., Pellegrino A., and Louarn G. 2006. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera* L.) growing in drying soil. Annals of Botany 98(1): 175-185. https://doi.org/10.1093/aob/mci085.
24. Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1.
25. Lolaei A., Hashem Abadi D., and Sedaghathoor S. 2013. Effect of calcium, zinc and nitrogen sprays on vegetative and reproductive growth and shelf life of strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Selva). Journal of Plant Enviromental Physiology 8(2): 31–40. (In Persian)
26. Narimani H., and Sharifi R. 2020. Effect of foliar and soil application of zinc on photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence and grain yield of wheat under soil salinity. Journal of Soil Management and Sustainable Production 10(2): 89-105. (In Persian) https://doi.org/10.22069/EJSMS.2020.16140.1861.
27. Nobahar A., Mostafavi Rad M., Zakerin H.R., Sayfzadeh S., and Valadabadi A.R. 2019. Evaluation of physiological characteristics in peanut (*Arachis hypogaea* L.) in response to plant cutting and application methods of Zn and Ca nano-chelates. Journal of Plant Productions (Scientfic Journal of Agriculture) 41(4): 97-110. (In Persian)
28. Paygzar Y., Ghanbari A., Heidari M., and Tavassoli A. 2009. Effect of foliar Application of micronutrients on quantitative and qualitative characteristics of Pearl millet (*Pennisetum glacum*) under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology (Agricultural Science) 3(10): 67-79. (In Persian)
29. Perkins-Vaezie P., Collins J.K., and Howard L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. Postharvest Biology and Technology 47(3): 280-285. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.002.
30. Rafiipour M., Gholami M., and Sari Khani H. 2016. The effect of dehydration stress and some nutrients on quantitative and qualitative characteristics of Camarosa strawberry cultivar, Ph.D thesis, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, 145 p. (In Persian)
31. Raliya R., Nair R., Chavalmane S., Wang W.N., and Biswas P. 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. Metallomics 7(12): 1584-1594. https://doi.org/10.1039/C5MT00168D.
32. Ranjbar M., and Shams G.A. 2009. Using of nanoteechnology. Journal of Environment Green 3: 29-34.
33. Rossi L., Fedenia L.N., Sharifan H., Ma X., and Lombardini L. 2019. Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea arabica* L.) plants. Plant Physiology and Biochemistry 135: 160-166. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005.
34. Sairam R.K., Deshmukh P.S., and Saxena D.C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat. genotype tolerance to water stress. Biologia Plantarum 41: 387-394. https://doi.org/10.1023/A:1001898310321.
35. Sarker B.C., Hara M., and Uemura M. 2005. Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. Scientia Horticulturae 103(4): 387-402. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.07.010.
36. Sartip H., and Sirousmehr A.R. 2016. Effect of titanium nano particles and different irrigation levels on photosynthetic pigments, proline, soluble carbohydrates and growth parameters of Purslane. Journal of Plant

Ecophysiology 9: 79-90. (In Persian)

37. Scrinis G., and Lyons K. 2007. The emerging nano-corporate paradigm: nanotechnology and the transformation of nature, food and agri-food systems. International Journal of Sociology of Agriculture and Food 15(2): 22-44 https://doi.org/10.48416/ijsaf.v15i2.293.
38. Sensoy S., Ertek A., Gedik I., and Kucukyumuk C. 2007. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.). Agricultural Water Management 88(1-3): 269-274. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.015.
39. Shahi P., Abdossi V., and Poornamdari E. 2019. Investigating the effect of various forms of zinc on pomegranate and pomegranate juice characteristics. Journal of Food Technology and Nutrition 16(4): 81-90. (In Persian)
40. Showemimo F.A., and Olarewaju J.D. 2007. Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Plant Breeding and Genetics 1: 29-33. https://doi.org/10.3923/ijpbg.2007.29.33.2006.10.015.
41. Terry L.A., Chope G.A., and Bordonaba J.G. 2008. Effect of water deficit irrigation on strawberry (*Fragaria*× *ananassa*) fruit quality. In VI International Strawberry Symposium 842 (pp. 839-842).
42. Torabian S., Zahedi M., and Khoshgoftar A.H. 2015 Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. Journal of Plant Nutrition 39(2): 172-180. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1009107.
43. Turhan E., and Eris A. 2005. Changes of micronutrients, dry weight, and chlorophyll contents in strawberry plants under salt stress conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(7-8): 1021-1028. https://doi.org/10.1081/CSS-200050418.
44. Wang N., and Duan J.K. 2006. Effects of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentil (*Lens culinaris*). Food Chemistry 95(3): 493-502. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.001.
45. Wei Y., Shao X., Wei Y., Xu F., and Wang H. 2018. Effect of preharvest application of tea tree oil on strawberry fruit quality parameters and possible disease resistance mechanisms. Scientia Horticulturae 241: 18-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.077.
46. Yildizhan H. 2018. Energy, exergy utilization and CO_2 emission of strawberry production in greenhouse and open field. Energy 143: 417-423. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.139.
47. Zare Dehabadi S., Asrar Z., and Mehrabani M. 2010. Biochemical changes in terpenoid compounds of *mentha spicata* essential oils in response to excess zinc supply. Iranian Journal of Plant Biology 2(3): 25-34. (In Persian). https://doi.org/20.1001.1.20088264.1389.2.3.4.5.